

EVALUACIÓN DE LAS PRESTACIONES DE LA RED GPRS PARA APLICACIONES DE MONITOREO REMOTO.

Guillermo Rodolfo Friedrich ¹

Jorge Raúl Ardenghi ²

¹ Dto. Electrónica, Univ. Tecnológica Nac., Fac. Reg. Bahía Blanca. gfried@frbb.utn.edu.ar

² Dto. Cs. e Ing. de la Computación, Univ. Nac. del Sur, 8000 Bahía Blanca, Argentina.
Laboratorio De Investigación en Sistemas Distribuidos (LiSiDi) miembro del IICyTI
(Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología Informática)
jra@cs.uns.edu.ar

Resumen

Las redes de telefonía celular GSM, a través del servicio GPRS (General Packet Radio Service), son una alternativa interesante al momento de seleccionar una tecnología de comunicación para aplicaciones de monitoreo remoto. Si bien GPRS tiene un costo de utilización en función del volumen de datos transferidos, algunos aspectos favorables son: baja inversión inicial y simplicidad para transferir datos a cualquier sitio en la Internet. A diferencia de otros autores que han evaluado el desempeño de GPRS para el acceso a la web mediante TCP y HTTP, en este trabajo se evalúan sus prestaciones para el monitoreo remoto y se describe una aplicación en monitoreo ambiental.

Palabras claves: monitoreo remoto, GPRS, redes de sensores, control ambiental.

1. Introducción

En la actualidad las empresas de telefonía celular promueven el uso de las redes GSM para el tráfico de datos, el acceso a Internet y el envío de mensajes de texto y multimedia, entre otras. Uno de los servicios disponibles para el tráfico de datos es GPRS, del tipo “siempre conectado” (always on), con una tarificación en función de la cantidad de KBytes transferidos, sin tener en cuenta el tiempo de conexión. Debido a que la red GSM esta basada en TDMA, los teléfonos celulares y los módems aptos para su uso en GPRS se clasifican según la cantidad de canales (ranuras de tiempo) que utilizan. Por ejemplo, el equipo terminal que se ha utilizado en el marco del presente trabajo está basado en un módulo Motorola g20 ^[1], de clase 4+1 (4 ranuras de bajada y una de subida). Esta asimetría se debe a que el uso primario para el que han sido diseñados estos equipos es la descarga de datos hacia el usuario, empleando el canal de subida sólo para enviar requerimientos, acuses de

recibo y otra información de control. El ancho de banda máximo que se podría lograr con este módulo, según lo indicado por el fabricante, es de 85.6 kbps (de bajada). Sin embargo, la tasa de bits se verá reducida en caso de que la calidad del enlace sea más pobre. Según ensayos realizados por Chakravorty y otros ^{[2][3][4]} la tasa de transferencia obtenida con un terminal de clase 4+1, con buenas condiciones de señal, estuvo en 53.6 kbps de bajada y 12 kbps de subida.

Los trabajos citados estaban orientados a evaluar el desempeño de GPRS para tráfico basado en TCP y HTTP, y proponen modificaciones para aumentar la performance para ese tipo de tráfico. Para las empresas de telefonía celular GPRS es parte de su negocio, y su rédito está en función del volumen de tráfico, estrechamente ligado al uso de TCP y HTTP. Por el contrario, en este trabajo se evalúa GPRS desde una óptica diferente, ya que en lugar de transferir volúmenes de datos más o menos importantes, se pretende usar esta red como base para el desarrollo de aplicaciones de supervisión o monitoreo remoto, incluso para el despliegue de redes de sensores. En este caso los requerimientos son diferentes, en general el volumen de información es reducido, los datos se envían periódicamente o ante un evento -quizá en un solo paquete-, el protocolo de transporte puede ser UDP en lugar de TCP, la tasa de transferencia tiene menos importancia que el retardo y la confiabilidad de la red es un aspecto crítico. Otra diferencia notable es que en este tipo de aplicaciones la información viaja en el sentido contrario a lo típico, como por ejemplo la navegación por páginas web. Los datos van en el sentido de subida y puede haber un tráfico menor -p.ej.: acuses de recibo- en el sentido de bajada.

Entre las aplicaciones que motivaron la realización de estas experiencias se pueden mencionar: monitoreo ambiental (contaminación del aire, ruido, inundaciones ^[13], etc), telemedicina ^{[10][14][15]}, monitoreo de vehículos ^[8]. En el último caso también se aprovecha la movilidad que brinda la red GPRS, mientras que en los anteriores si bien puede no requerirse demasiada movilidad, se aprovecha la facilidad de despliegue que permite esta red. Debido a la cobertura que brinda GSM/GPRS, es muy fácil desplazar el equipamiento de monitoreo de un lugar a otro (por ejemplo para efectuar mediciones de ruido en distintos sectores de la ciudad) o desplegar rápidamente una red de sensores. En determinados casos hay importantes ventajas contra otros medios de comunicación -físicos o inalámbricos-, sin embargo también es necesario conocer sus limitaciones y deficiencias, lo cual es objeto de estudio en el presente trabajo.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en el inciso 2 se presenta una breve descripción de GPRS, en 3 se describe -a modo de ejemplo- una aplicación de monitoreo ambiental basada en GPRS, en 4 se detallan los resultados de las experiencias realizadas y se comparan con las de otros trabajos, y en 5 se presentan las conclusiones y propuestas para futuros trabajos.

2. Breve descripción de GPRS.

Puede considerarse a la red GPRS como superpuesta a la red GSM y aprovechando su infraestructura para el transporte de los datos. En la figura 1 se intenta sintetizar los aspectos más

importantes de GPRS, desde la óptica de quien va a utilizar sus servicios para conectar un terminal móvil (TM) con un host en la Internet. El lector interesado puede consultar en diversas fuentes para obtener una información más amplia sobre esta tecnología ^{[6][16]}.

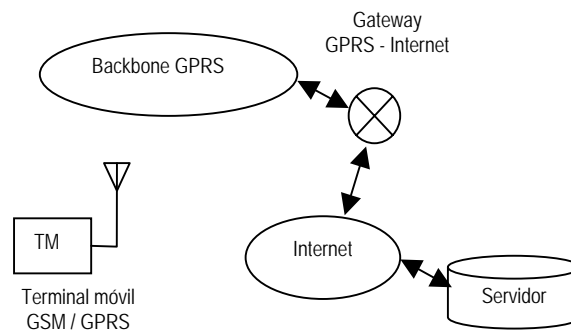


Fig. 1: Diagrama descriptivo de la red GPRS.

El terminal móvil accede a algún servidor en la Internet, pasando por el backbone GSM/GPRS y un gateway que vincula la red GPRS con la Internet. El TM funciona como cliente, y debe obtener su dirección IP en forma dinámica.

El TM puede ser un teléfono celular GSM con capacidad GPRS, o bien un módulo GSM conectado mediante una interfaz adecuada (p.ej.: RS-232) a un microcontrolador o computadora que lo maneja. La segunda alternativa es la que se ha adoptado en el presente trabajo, utilizando un módem basado en un módulo Motorola g20 ^[1] manejado a través de RS232 mediante comandos AT ^[5] (para las pruebas se utilizó una PC y para una aplicación de monitoreo ambiental se desarrolló un TM basado en un microcontrolador AT89S8252).

En general el TM trabaja como cliente, iniciando la comunicación con algún servidor conectado a Internet. Un ejemplo típico es la navegación en la web, en la que el cliente establece una conexión con un servidor especificando la dirección IP, el protocolo (TCP) y el número de puerto al cual va dirigido el requerimiento. En el caso del módem g20 que se utilizó, dado que éste implementa la pila de protocolos TCP/IP hasta la capa de transporte (TCP o UDP), el programador de la aplicación debe implementar el protocolo de la capa de aplicación con sus correspondientes encabezados (p.ej.: http, smtp, pop3, etc.). En casos análogos al del presente trabajo, el protocolo de la capa de aplicación se desarrolla ad-hoc para un conjunto de requerimientos específicos.

Desde el punto de vista económico, el costo de utilizar GPRS para la transmisión y recepción de datos va en función de la cantidad de KB transferidos por sesión, generalmente fraccionado en KB, y no depende del tiempo de duración de la conexión. Sin embargo, como esta es una cuestión comercial y no técnica, es necesario informarse adecuadamente acerca de los planes y modalidad de facturación de cada empresa. Por ejemplo, algunas pueden ofrecer una tarifa plana hasta una cierta cantidad de KB o MB y un adicional por KB de exceso. En otros casos podría haber un costo mínimo por sesión, equivalente a una cierta cantidad de KB.

2.1 Pautas para la comunicación entre un cliente GPRS y un servidor en la Internet.

Para que un TM GPRS pueda establecer una comunicación con un servidor en la Internet se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Estar registrado en la red GSM de una empresa de telefonía celular.
- Iniciar una sesión GPRS: abrir una conexión PPP y obtener una dirección IP. Para esto debe conectarse al GGSN (Gateway GPRS Support Node), referenciado mediante un nombre al estilo de una URL (p.ej.: *internet.ctimovil.com.ar*), usando un nombre de usuario y contraseña adecuados. El GGSN entrega entonces la dirección IP asignada al TM para la sesión.
- Abrir un socket para comunicarse con el servicio requerido, indicando la dirección IP del servidor, número de puerto del servicio requerido, número de puerto de origen a usar y protocolo de transporte (TCP o UDP).

A continuación el TM estará en condiciones de enviar mensajes al servidor y (opcionalmente) recibir respuestas del mismo.

Una vez finalizada la transacción, el TM puede cerrar el socket, cortar la conexión PPP (cerrar la sesión) y desregistrarse de la red. Sin embargo, si dentro de un tiempo relativamente breve se van a transferir más datos, puede ser conveniente mantener la sesión abierta debido a que la tarificación se calcula en base a los KB transferidos por sesión (redondeados hacia arriba), sin tener en cuenta el tiempo de conexión. Sin embargo, como en ocasiones las sesiones pueden terminar de improviso (algunas empresas lo advierten) o bien puede cortarse el enlace sin ninguna indicación (los paquetes enviados se pierden), una buena práctica sería periódicamente cerrar la sesión y abrir una nueva.

3. Ejemplo: una aplicación de monitoreo ambiental basada en GPRS.

El cuidado del medio ambiente es un tema muy sensible para los distintos niveles de gobierno, tal vez más a nivel municipal debido a la cercanía con la población. Se pueden mencionar diversos tópicos como calidad del aire, efluentes líquidos, ruido. Asimismo, las fuentes de contaminación pueden ser tanto de tipo industrial como así también ocasionadas por la misma población (gases de escape, cloacas, ruido, etc.).

El punto de partida para poder aplicar las medidas correctivas adecuadas es contar con información adecuada acerca de los distintos tipos de contaminantes, su evolución en el tiempo, la correlación entre sí y con otros factores –incluso meteorológicos–, y su localización geográfica. Esto lleva a pensar en la implementación de una red de sensores distribuidos geográficamente, que reportan la información obtenida a un sitio central donde la misma es procesada y puesta a disposición de los interesados. Pueden señalarse algunos elementos característicos:

- Se debe realizar la adquisición de datos simultáneamente en distintos puntos geográficos.

- Las señales involucradas varían en forma relativamente lenta, pudiendo lograrse un adecuado seguimiento de su variación tomando muestras espaciadas cada varios segundos o, en algunos casos, cada varios minutos. Incluso, para ciertas aplicaciones interesa llevar un registro estadístico de determinadas variables, en base a promedios horarios.
- Los datos deben ser centralizados para su posterior procesamiento y presentación.
- Puede resultar conveniente que la información pueda ser accedida a través de la Internet.
- La dispersión geográfica y/o la posible movilidad o reubicación de los sensores sugiere la conveniencia de utilizar vínculos inalámbricos.
- Si se monitorean simultáneamente distintos puntos, el costo del equipamiento de comunicaciones debe ser reducido, al igual que su operación y mantenimiento.

Si se analizan otros problemas de monitoreo remoto se puede ver que la problemática es similar, al igual que los requerimientos para la infraestructura de comunicaciones. Sin embargo, cabe hacer una distinción entre aplicaciones cuyo objetivo es recolectar y procesar información con fines estadísticos, y otro tipo de aplicaciones –que se podrían clasificar como de supervisión y control– que deben responder ante ciertos eventos. En este caso la comunicación es más crítica, por lo que se puede pensar en dos escenarios diferentes a los fines del análisis. Esto se trata en el inciso 5.

4. Ensayos efectuados.

Como ya se mencionara, un objetivo primordial de GPRS es su uso para acceder a los distintos servicios disponibles en la Internet (navegación, correo, chat, etc.). Por un lado las empresas de telefonía celular esperan que el público haga un uso masivo de esta tecnología, con un elevado tráfico de información que redunde en un importante beneficio económico. Por otro lado, los usuarios dispuestos a pagar para acceder a la Internet mediante GPRS esperan tener una muy buena performance del enlace. En tal sentido, otros trabajos ^{[2][3][4][7][9][11][12]} están orientados a evaluar las prestaciones y limitaciones de GPRS para el tráfico basado en TCP y/o HTTP, e incluso a proponer modificaciones al protocolo TCP y/o a la arquitectura de la red para atenuar el impacto negativo que introducen los retardos largos y variables. Sin embargo, en esos trabajos también se presentan algunos resultados que son de utilidad desde nuestro punto de vista.

En las aplicaciones de monitoreo (y/o de control), en general no se requiere transmitir grandes cantidades de datos, sino reportar valores obtenidos por diversos sensores y/o la ocurrencia de determinados eventos. Como esta información puede ser contenida en un único datagrama, es conveniente usar UDP en lugar de TCP, debido a la menor sobrecarga y a que genera menos tráfico. Por otra parte, si el control de errores queda a cargo de la aplicación, es de esperar una mejor adaptación a las características de la red. Para el tipo de aplicaciones que nos ocupa, es más importante la latencia y confiabilidad de la red que el ancho de banda, por lo que se han efectuado ensayos tendientes a medir el retardo de ida y vuelta (RTT) y la pérdida de paquetes.

4.1 Medición del RTT mediante paquetes ICMP (ping)

Este ensayo se realizó enviando pings a un TM GPRS desde una computadora conectada a Internet a través de la red de cable modem de BVC Online en Bahía Blanca. Cabe destacar que en este caso el tráfico se origina en sentido inverso al típico, porque no es el TM quien envía el requerimiento de eco sino quien responde al mismo. A continuación se ve el resultado de par de secuencias de pings:

```
c:\testGPRS>ping 170.51.228.44
Haciendo ping a 170.51.228.44 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 170.51.228.44: bytes=32 tiempo=1758ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.228.44: bytes=32 tiempo=712ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.228.44: bytes=32 tiempo=619ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.228.44: bytes=32 tiempo=618ms TTL=53

c:\testGPRS>ping 170.51.245.62
Haciendo ping a 170.51.245.62 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 170.51.245.62: bytes=32 tiempo=2439ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.245.62: bytes=32 tiempo=618ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.245.62: bytes=32 tiempo=607ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.245.62: bytes=32 tiempo=611ms TTL=53
```

Puede observarse que el primer ping de cada secuencia tiene un RTT mucho mayor que los restantes. Estos valores son bastante cercanos a los obtenidos en ensayos similares efectuados en redes europeas ^[4]. A fin de determinar la contribución de cada parte del trayecto al RTT total, se efectuaron algunas trazas mediante *traceroute*. A continuación se ven los resultados de una traza:

```
C:\testGPRS>tracert 170.51.245.62
Traza a 170.51.245.62 sobre caminos de 30 saltos como máximo.

 1    17 ms    *        13 ms  10.10.248.1
 2    16 ms   22 ms   17 ms  10.9.0.254
 3    26 ms   22 ms   24 ms  200-47-33-225.comsat.net.ar [200.47.33.225]
 4      *      *        *      Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
 5      *      *        *      Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
 6    52 ms   76 ms   52 ms  200-47-60-213.comsat.net.ar [200.47.60.213]
 7    29 ms   36 ms   37 ms  200-47-60-214.comsat.net.ar [200.47.60.214]
 8    56 ms   25 ms   24 ms  host089201.metrored.net.ar [200.49.89.201]
 9    39 ms   23 ms   44 ms  npcl62-npcr02.metrored.net.ar [200.49.69.54]
10    37 ms   30 ms   67 ms  ADSL-200-59-74-130.capfed2.sinectis.com.ar [200.59.74.130]
11      *      *        *      Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
12    56 ms   50 ms   50 ms  170.51.255.6
```

13	30 ms	66 ms	52 ms	170.51.255.252
14	36 ms	*	33 ms	192.168.15.134
15	25 ms	38 ms	34 ms	192.168.15.6
16	2170 ms	679 ms	624 ms	170.51.245.62

Se observa que la mayor parte del RTT se produce al atravesar la red GSM. El retardo tan elevado del primer ping se debe a la gestión de asignación de la ranura de tiempo para la transmisión sobre la red GSM, que luego se mantiene para los siguientes paquetes (si la separación entre ellos no supera un cierto tiempo en el orden del segundo). A continuación se muestra la salida en pantalla de una porción de una secuencia larga de pings, en la que se observa que luego de un eco perdido la siguiente respuesta sufre una demora mucho mayor. Esto se debe a que la asignación de ranuras de tiempo para una dada conexión se mantiene por un tiempo breve.

```

Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=665ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=681ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=683ms TTL=53
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=1799ms TTL=53
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=1345ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=692ms TTL=53
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=1274ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=702ms TTL=53
Respuesta desde 170.51.244.39: bytes=100 tiempo=803ms TTL=53

```

Otro interrogante que puede plantearse al analizar los resultados precedentes está referido al porcentaje de pérdida de paquetes. Debido a los grandes retardos en juego, la pérdida de paquetes introduce una degradación muy apreciable a la performance del tráfico basado en TCP^{[2][3][4]}, como así también un aumento en el costo de utilización del vínculo debido a la necesidad de efectuar retransmisiones de paquetes que pudieron haber llegado correctamente. Desde el punto de vista que nos ocupa, el monitoreo remoto basado en UDP, la probabilidad de pérdida de paquetes obliga a pensar en estrategias que minimicen el costo de uso del enlace y la pérdida de información. Asimismo, hay que tener en cuenta este factor si se trata de informar eventos que requieran una atención con cierta urgencia. En 4.3 se analiza el tema de la pérdida de paquetes.

4.2 Medición del RTT mediante el eco de datagramas UDP

Si bien las mediciones obtenidas mediante ping y traceroute dan un indicio acerca del desempeño de la red, no reflejan totalmente la realidad debido a que en una comunicación real entre un par de aplicaciones cliente y servidor están involucradas otras entidades, en las capas de transporte y

aplicación, que introducen retardos adicionales. La comunicación entre el TM y el modem GSM que se han utilizado se realiza mediante una interfaz RS232 a 4800 bps, que también contribuye a aumentar el RTT total. Otra diferencia con los ensayos anteriores basados en ICMP es que en aquel caso el equipo GSM respondía a los requerimientos de eco, mientras que en los ensayos basados en UDP quien inicia el proceso es el equipo móvil. Esto puede producir alguna diferencia en el retardo debido a que es distinta la gestión de los intervalos de tiempo para el transporte de los datos sobre la red GSM.

Para estos ensayos se dispuso de un servidor UDP haciendo eco de los datagramas recibidos. El mismo estaba conectado a una dirección pública en la Internet, a través de un proveedor de Internet comercial por cable modem (BVC Online). El RTT promedio con paquetes de 10 bytes fue de 950 mseg y con paquetes de 100 bytes fue de 1350 mseg. De acuerdo a los cálculos realizados, la diferencia entre ambos tiempos se debe a la mayor cantidad de bytes que debieron ser transferidos a 4800 bps entre el modem GSM y la computadora sobre la que ejecutaba la aplicación cliente.

El TM abre y cierra una conexión PPP y un socket por cada transacción. Se obtuvieron resultados prácticamente similares utilizando la misma conexión y socket para todos los mensajes. En horarios pico se ha detectado una mayor cantidad de paquetes perdidos y un mayor retardo en algunos paquetes. A continuación se muestra el resultado de una prueba efectuada durante una hora, en horario pico (día hábil, de 12:30 a 13:30 hs), con una separación de un minuto entre paquetes:

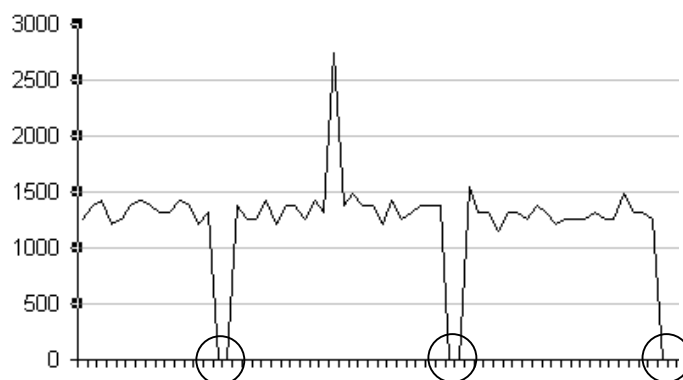


Fig. 1: RTT (mseg) para datagramas UDP en hora pico
Los ceros marcados con círculos corresponden a pérdidas de paquetes, cada una de ellas de dos paquetes consecutivos.

Si bien el gráfico anterior no implica que la red se comportará siempre de esta forma, al menos da un indicio del resultado que se puede esperar: un RTT típico entre 1250 y 1400 mseg, algunos casos que rondan los 2800 mseg, y algunos paquetes perdidos. A veces se observa una pérdida aislada y a veces un intervalo más o menos extenso (a veces más de un minuto) de pérdidas consecutivas.

En otra serie de ensayos se observó la distribución estadística de los valores del RTT y su variación en función de la hora del día. Para ello una estación de trabajo conectada a un módem Motorola g20

enviaba datagramas UDP a un servidor ad-hoc, conectado a la Internet a través de la red de la UTN-FRBB, y el servidor respondía inmediatamente después de cada paquete recibido, a fin de que la estación de origen calcule el RTT. La figura 2a muestra la distribución porcentual del RTT, de acuerdo a mediciones efectuadas en distintos días, entre las 6 y las 24 hs. En un 60% de los casos, el RTT estuvo entre los 1200 y los 1600 mseg. Otro 33% estuvo entre los 1900 y 2200 mseg y sólo una mínima fracción (0,61%) tuvo un retardo mayor a los 3 seg.

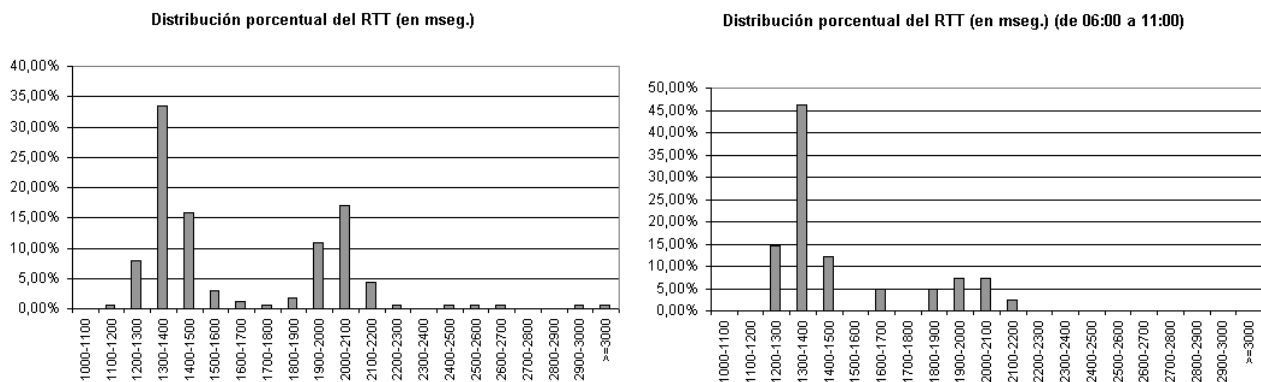


Fig. 2: Distribución porcentual del RTT, según mediciones efectuadas en distintos días entre las 6 y las 24 hs (a) y entre las 6 y las 11 hs (b).

Se podría suponer que estas dos concentraciones bien diferenciadas, pueden estar relacionadas con distintas situaciones de carga de las redes (GSM/GPRS e Internet). La figura 2b, que muestra la distribución porcentual del RTT entre las 6 y las 11 hs permite suponer con más firmeza que con baja carga de la red (en particular en la red GSM/GPRS) el RTT estará por debajo de los 1600 mseg, mientras que en horario pico el mismo podrá trepar hasta cerca de los 3 seg.

En base a estos resultados y teniendo en cuenta los obtenidos mediante *traceroute*, puede concluirse que la porción más significativa del retardo está determinada por la red GSM/GPRS, y su variación depende especialmente de la carga que soporta dicha red.

Una consideración de orden práctico es que raramente se experimentó un RTT mayor a los 3 seg, lo que esto puede ser una referencia para establecer el tiempo máximo que es dado esperar por un acuse de recibo antes considerar perdido un paquete (o su acuse de recibo).

Es importante tener presente que estos tiempos han sido obtenidos bajo ciertas condiciones (en Bahía Blanca, con el TM conectado a la red GSM de CTI y el servidor conectado o bien a la red de BVC Online o bien a la red de la UTN-FRBB. Para otros contextos sería necesario repetir estos ensayos, a fin de poder sintonizar adecuadamente el protocolo de comunicación.

4.3 Pérdida de paquetes

Para evaluar la pérdida de paquetes entre un TM GPRS y un host en Internet se efectuaron pruebas

en base a ICMP (ping), y envío y eco de datagramas UDP. Se efectuaron pruebas en distintos horarios, a los efectos de abarcar diferentes situaciones de carga de la red. A continuación se describen algunos resultados desfavorables que resultan significativos:

- Pruebas con secuencias de ping con timeout de 5 segundos: tanto en pleno horario comercial (12.30 p.m.) como en horas no pico (8.30 a.m.) se han detectado ráfagas de pérdidas consecutivas de entre 30 segundos a un minuto y medio aproximadamente. La pérdida esporádica de paquetes (uno perdido entre otros correctos) en horarios pico estuvo entre el 4% y el 6%.
- Pruebas con eco de datagramas UDP: se han obtenido resultados algo mejores que con ICMP. Puede ser debido a que los routers congestionados descarten antes los paquetes ICMP. Por ejemplo: en un caso de 50% de pérdidas con ping, se obtuvo 40% con UDP –igual muy elevado.

La pérdida esporádica de paquetes se puede resolver mediante requerimientos de retransmisión selectiva. Como el envío de acuses de recibo también tiene un costo, desde un punto de vista económico sería conveniente enviar acuses de recibo periódicamente y no por cada paquete. Esos acuses de recibo servirían tanto para confirmar los paquetes recibidos como para solicitar las retransmisiones necesarias. Esta estrategia requiere que el emisor tenga suficiente memoria para guardar los paquetes cuya recepción no ha sido confirmada. Asimismo, este esquema puede introducir una latencia adicional, debido a que la información contenida en un paquete perdido recién llegará a destino luego del período entre acuses de recibo, cuando el emisor reciba el pedido de retransmisión. Un punto a favor es que en caso de desvanecimiento del enlace, no se sigue reintentando en vano.

5. Conclusiones y consideraciones para un par de posibles escenarios.

La motivación del presente trabajo es el aprovechamiento de GPRS para aplicaciones de monitoreo remoto. Por las características del tráfico en este tipo de aplicaciones, el protocolo de transporte típicamente utilizado es UDP. Un ejemplo es SNMP, usado para la gestión y monitoreo remoto de dispositivos de red. Al usar UDP, el control de errores corre por cuenta de la capa de aplicación y debe estar en consonancia con las características de la red, a fin de optimizar el uso del medio. Un buen punto de partida para el diseño del protocolo de comunicación es el análisis de los posibles escenarios. A continuación se describen dos de ellos:

Primer escenario: sensado remoto de una cierto conjunto de variables, a fin de caracterizar determinados fenómenos y su interacción y correlación. Un ejemplo es la adquisición y registro de variables ambientales y climáticas, a fin de evaluar la contaminación ambiental, determinar sus causas y poder construir modelos que permitan tomar acciones correctivas.

En este tipo de escenario el objetivo inicial es conformar una base de datos con los valores sensados, por lo que el protocolo de comunicación debe evitar la pérdida de información ocasionada

por la pérdida ocasional de paquetes y/o por la interrupción temporaria del enlace. La latencia de la red puede ser tolerada dentro de ciertos márgenes relativamente amplios. Asimismo, como se trata de un enlace cuyo uso tiene un costo, también se pretende minimizar dicho costo de comunicación. Una estrategia podría estar basada en un pseudo mecanismo de ventana deslizante, más simple que el de TCP, que permita reducir en la medida de lo posible el efecto de la pérdida esporádica de paquetes y el desvanecimiento. A continuación se describe un esquema tentativo:

- El TM adquiere información y envía un datagrama. Cada datagrama tiene un número de secuencia que lo identifica, y no se espera un acuse de recibo por cada uno. El TM guarda una copia de cada datagrama enviado, hasta recibir su acuse de recibo. La cantidad de tramas a la espera de un acuse de recibo dependerá de la capacidad de memoria del TM y de la máxima latencia aceptable. La ventana se desplaza a medida que se reciben acuses de recibo positivos.
- El servidor envía periódicamente un acuse de recibo. Al aceptar el último datagrama recibido, se dan por aceptados también los anteriores. Cuando se haya detectado la falta de uno o más paquetes, el mensaje de acuse de recibo contendrá la lista de paquetes que deben ser reenviados. Una vez recibidos los faltantes se envía el acuse de recibo positivo del último paquete de la secuencia. La fig. 3 muestra un ejemplo de operación.

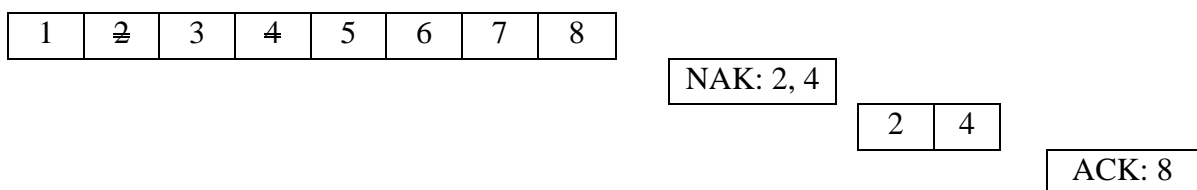


Fig. 3: Ejemplo de secuencia de envío de paquetes y acuses de recibo.

Los paquetes 2 y 4 se perdieron, al finalizar el período entre acuses de recibo se solicita la retransmisión de ambos. Luego de recibirlos se aceptan todos.

Cabe aclarar que estas son sólo algunas consideraciones preliminares, quedando para un trabajo posterior el desarrollo y evaluación de un protocolo de comunicación optimizado y parametrizable.

Segundo escenario: sensado remoto a fin de supervisar y controlar un determinado entorno o sistema. Se trata de obtener la información que caracteriza el estado actual de un sistema, a fin de tomar acciones correctivas o preventivas, con plazos que pueden ser bastante acotados. Algunos ejemplos son: la detección de una anomalía en los signos vitales de un paciente bajo monitoreo remoto; la salida de un móvil de la ruta preestablecida; la detección de gases tóxicos en cercanías de una planta industrial, para ordenar medidas -incluso la evacuación de la población aledaña. En estos casos la pérdida esporádica de paquetes es un factor adverso, pero más aún la latencia, la pérdida continuada de paquetes (se han detectado intervalos de minutos) y el desvanecimiento del enlace. Esta es solo una consideración preliminar, quedando para trabajos posteriores el análisis de casos concretos, a fin de determinar y cuantificar los requerimientos (p.ej.: latencia admisible), para luego proponer protocolos y estrategias de comunicación adecuados.

Referencias

- [1] Motorola, Hoja de presentación del modulo GSM Motorola G20, disponible en formato pdf en: www.motorola.com/mot/doc/5/5807_MotDoc.pdf
- [2] R. Chakravorty, I. Pratt, "WWW Performance over GPRS", *Proc. of the IEEE Mobile and Wireless Communications Networks 2002 (IEEE MWCN 2002)*, Sep.2002., Estocolmo, Suecia.
- [3] R. Chakravorty, J. Cartwright, I. Pratt, "Practical Experience with TCP over GPRS", *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM 2002)*, Nov. 2002, Taipei, Taiwan.
- [4] R. Chakravorty and I. Pratt, "Performance Issues with General Packet Radio Service", *Journal of Communications and Networks (JCN), Special Issue on Evolving from 3G deployment to 4G definition*, Vol. 4, No. 2, Dec. 2002.
- [5] Motorola, G20 AT Commands Developer's Guide Motorola, disponible en formato pdf en: http://www.motorola.com/mot/doc/0/970_MotDoc.zip
- [6] R. A. Snyder, "Wireless Mobile Networking with ANSI-41", 2º edición, cap. 19, McGraw-Hill.
- [7] R. Chakravorty, A. Clark, I. Pratt. "GPRSWeb: Optimizing the Web for GPRS Links", en *ACM/USENIX MOBISYS 2003*
- [8] J. P. Talledo Vilela, J. C. Miranda Valenzuela, "Wireless Sensor Network and Remote Data Acquisition System for Mobile Applications", *16th International Conference on Electronics, Communications and Computers*, p. 3, 2006.
- [9] J. Korhonen, O. Aalto, A. Gurtov, H. Laamanen, "Measured performance of GSM HSCSD and GPRS", *IEEE Conference on Communications*, Helsinki, Finlandia, 2001.
- [10] J. M. R. Ascariz, L. Boquete, I. Bravo, P. Martín, "Wireless solution for the implementation of a telemedicine system", *Proceedings of the First Iberoamerican Congress on Ubiquitous Computing*, Alcalá de Henares, Madrid, España, Mayo 4-6, 2005.
- [11] M. A. Marsan, P. Laface y M. Meo, "Packet Delay Analysis in GPRS Systems", *IEEE INFOCOM 2003*.
- [12] A. Gurtov, M. Passoja, O. Aalto, M. Raitola, "Multi-Layer Protocol Tracing in a GPRS Network", *IEEE Fall VTC 2002*
- [13] R. Roddis y E. L. Kuan, "A deployed sensor network to monitor a floodplain", *IEE Seminar on Netted Sensors*, Londres, Sept. 2005.
- [14] R. Chakravorty, "A programmable service architecture for mobile medical care", *Proc. of UbiCare 2006, 1st Workshop on Ubiquitous & Pervasive Healthcare*, Pisa, Italia, Marzo 2006.
- [15] J.M. Quero, M.M. Elena, J.A. Segovia, C.L. Tarrida, "CardioSmart: sistema inteligente de monitorización cardiológica empleando GPRS", *Revista IEEE América Latina*, Vol.3, Nº 2, Abril 2005
- [16] R. J. Bates, "GPRS: General Packet Radio Service", McGraw-Hill.